

Implementasi *Digital Subscriber Line Access Multiplexer* (DSLAM) pada teknologi *Very High Data Rate Digital Subscriber Line* (VDSL)

Aditya Angga Kusuma, Sholeh Hadi Pramono dan Ali Mustofa

Abstrak—Jaringan DSL atau xDSL (*Digital Subscriber Line*) adalah salah satu teknologi selain teknologi serat optik yang mendukung dalam layanan komunikasi pita lebar pada kabel tembaga yang dapat melayani, menyediakan layanan IP dan ATM (*Asynchronous Transfer Mode*). VDSL merupakan sasaran dari arsitektur jaringan ATM, dengan kecepatan 13 - 52 Mbps untuk *downstream* dan 1,5 - 2,3 Mbps untuk *upstream*-nya melalui sepasang kawat tembaga pada sisi *client* menuju *central office*. DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*) adalah perangkat utama pada teknologi xDSL, berfungsi untuk menggabungkan dan memisahkan kanal sinyal informasi berupa suara dan berupa data dengan menggunakan 2 jenis tipe modulasi yang digunakan, yaitu CAP (*Carrierless Amplitude/Phase Modulation*) dan DMT (*Discrete Multi Tone*). Penulisan skripsi ini bertujuan untuk menganalisis kualitas dan terkeandalan implementasi *Digital Subscriber Line Access Multiplexer* (DSLAM) pada teknologi *Very High Data Rate Digital Subscriber Line* (VDSL) dengan menganalisis parameter redaman, *delay end to end*, dan *throughput*. Metode yang digunakan adalah metode perhitungan dan analisis data. Hasil analisis yang didapatkan semakin besar nilai jarak antara *Client* dengan DSLAM maka nilai redaman semakin besar, hal tersebut ditunjukkan pada jarak 1,7 Km nilai laju bit VDSL 768 Kbps nilai redaman 37,7 dB/Km dengan jarak 1,8 Km untuk nilai laju bit VDSL 764 Kbps nilai redaman 38,7dB/Km. Semakin besar kecepatan transmisi maka *delay* total semakin kecil, hal tersebut ditunjukkan pada nilai laju bit VDSL 1126 Kbps jarak 1,8 Km MSS 576 byte nilai *delay* total 0,010070939 detik dengan nilai laju bit VDSL 608 Kbps jarak 1,8 Km MSS 576 byte nilai *delay* total 0,018515819 detik. Semakin besar kecepatan transmisi VDSL maka nilai *throughput* semakin besar untuk jaringan DSLAM pada VDSL, hal tersebut ditunjukkan pada nilai laju bit VDSL 768 Kbps MSS 1500 byte nilai *throughput* 491,99 paket/sel dengan nilai laju bit VDSL 615 Kbps MSS 1500 byte nilai *throughput* 393,97 paket/sel.

Kata Kunci—DSLAM, VDSL, CAP, DMT, redaman, *delay end to end*, *throughput*

Aditya Angga Kusuma adalah mahasiswa program sarjana Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (penulis dapat dihubungi melalui email: ang6a24@gmail.com).

Sholeh Hadi Pramono, Dr., Ir., MS. dan Ali Mustofa, ST., MT. adalah staf pengajar program sarjana Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (email: sholehpramono@gmail.com; alim@ub.ac.id).

I. PENDAHULUAN

Dunia telekomunikasi terus mengalami pertumbuhan dan perkembangan, baik dari sisi peningkatan kebutuhan masyarakat atas permintaan jasa telekomunikasi maupun peningkatan tuntutan digunakannya sistem dan teknologi dengan kemampuan yang lebih baik dan terintegrasi,

Kebutuhan yang terus meningkat ini berdampak terhadap penggunaan *bandwidth* dan kecepatan data yang besar sehingga, harus didukung oleh sistem yang handal yang dapat memberikan kualitas layanan yang baik. Jaringan DSL atau xDSL (*Digital Subscriber Line*) adalah salah satu teknologi selain teknologi serat optik yang sudah banyak digunakan pada macam-macam sektor dan mendukung dalam layanan komunikasi pita lebar pada kabel tembaga yang dapat melayani, menyediakan layanan IP dan ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) pada jaringan yang telah ada.

Sebagai variasi, teknologi xDSL telah dikembangkan diantaranya (*Asymmetric-DSL*) ADSL, (*High Data Rate-DSL*) HDSL, (*Single Line-DSL*) SDSL, (*Multi Rate-DSL*) M-SDL, dan (*Very High Rate-DSL*) VDSL. Masing-masing teknologi ini memiliki karakteristik dan kecepatan yang berbeda, sehingga berbeda dalam pemodulasian sinyal agar dapat menghasilkan kualitas data yang baik. xDSL tersebut terhubung dari pengguna atau pelanggan menuju suatu perangkat di *central office*. VDSL merupakan kelanjutan dari teknologi DSL sebelumnya yang memiliki *bandwidth* yang lebar, teknologi DSL dengan kecepatan tertinggi yaitu mencapai 52 Mbps dan didukung dengan aplikasi simetris dan tak simetris. Aplikasi ini memungkinkan VDSL digunakan untuk *Full Service Access Network* (FSAN).

DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*) adalah perangkat utama pada teknologi xDSL yang terletak pada *central office*, berfungsi untuk menggabungkan dan memisahkan kanal sinyal informasi berupa suara dan kanal sinyal informasi berupa data.

Untuk pengoptimalan dalam pentransmisian data, pada perangkat DSLAM mempunyai 2 jenis tipe modulasi yang digunakan, yaitu CAP (*Carrierless Amplitude/Phase Modulation*) dan DMT (*Discrete Multi Tone*). CAP merupakan teknik modulasi yang bekerja dengan membagi spektrum frekuensi yang terdapat pada jalur *speedy* menjadi tiga bagian, yaitu kanal suara (berkisar antara 0 – 4 KHz), kanal *upstream* (25 KHz – 188 KHz), dan kanal *downstream* (240 KHz keatas), sedangkan DMT bekerja dengan membagi frekuensi menjadi 256 kanal, yang masing-masing lebarnya 4,3125 KHz. Optimalnya suatu rangkaian data di

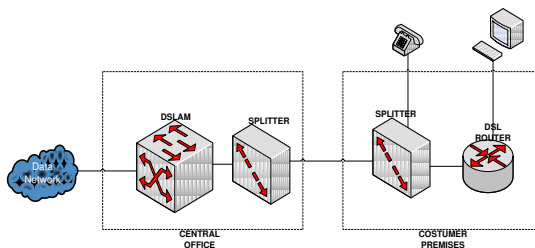
pengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu, dalam sebuah sistem yang terintegrasi dan berjenjang, data yang ditransmisikan dapat dikatakan baik maupun buruk dengan berorientasi beberapa parameter.

Mengacu pada permasalahan yang telah diuraikan dalam latar belakang maka rumusan masalah ditekankan pada performansi Redaman, *delay end to end*, *throughput*. Sehingga, penulisan skripsi ini bertujuan untuk menganalisis kualitas dan terkeandalan implementasi *Digital Subscriber Line Access Multiplexer* (DSLAM) pada teknologi *Very High Data Rate Digital Subscriber Line* (VDSL) dengan menganalisis parameter Redaman, *delay end to end*, dan *throughput*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Digital Subscriber Line Access Multiplexer (DSLAM)

DSLAM adalah suatu perangkat yang berfungsi memisahkan frekuensi sinyal suara dari trafik kecepatan tinggi, serta mengontrol dan merutekan trafik *Digital Subscriber line* (xDSL) antara perangkat *end-user* seperti *router*, modem, *network interface card*, dengan jaringan penyedia layanan. Setelah menghilangkan sinyal suara analog,



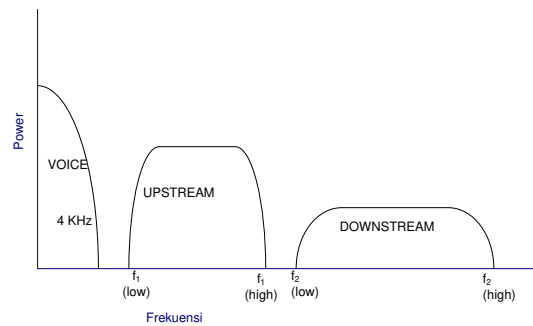
Gambar 1. Skema Transmisi DSLAM

(sumber : Alies Telesis DSL white paper)

Gambar 1 menunjukkan DSLAM mengumpulkan sinyal – sinyal yang berasal dari *end-user* dan menyatukannya menjadi sinyal tunggal dengan *bandwidth* yang lebar, melalui proses *multiplexing*. Sinyal yang sudah disatukan ini disalurkan dengan kecepatan Mbps ke dalam kanal oleh peralatan *switching backbone* melalui jaringan akses (AN) yang biasa disebut *Network service Provider* (NSP).

B. Carrierless Amplitude Phase (CAP)

CAP merupakan teknik modulasi yang bekerja dengan membagi spektrum frekuensi yang terdapat pada jalur speedy menjadi tiga bagian, yaitu kanal suara (berkisar antara 0 – 4 KHz), kanal *upstream* (25 KHz – 188 KHz), dan kanal *downstream* (240 KHz keatas), seperti pada Gambar 2 berikut.



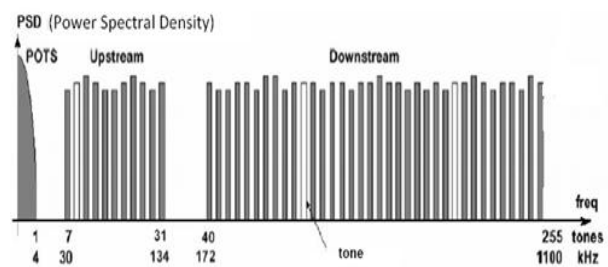
Gambar 2 Alokasi Kanal CAP

(Sumber : PRIMA K-PENS)

Modulasi CAP (*Carrierless Amplitude Phase*) mempunyai prinsip yang sama dengan modulasi QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*). Perbedaan dasar terletak pada sinyal *carrier*. CAP tidak menggunakan atau mengurangi *carrier* untuk merepresentasikan perubahan amplitudo dan fasa.

C. Discrete Multitone (DMT)

Teknik modulasi DMT bekerja dengan membagi frekuensi menjadi 256 kanal, yang masing-masing lebarnya 4,3125 KHz. Pada teknik modulasi ini, kecepatan data yang dikirim ke setiap kanal dapat diatur secara terpisah. Dengan cara ini, modulasi DMT dapat mengeliminasi kanal-kanal yang mengalami gangguan atau interferensi di kanal tersebut.



Gambar 3. Alokasi Kanal pada DMT

(Sumber : DSL access techniques, 2011)

Gambar 3 menunjukkan Sistem *multicarrier* membagi band frekuensi ke dalam beberapa subkanal yang berdiri independen dan terisolasi secara spektral. Dalam prosesnya, implementasi sistem *multicarrier* menggunakan transformasi digital orthogonal pada blok data, sebuah proses yang disebut *subchannelization*. Dengan menjaga daya sinyal subkanal yang terdapat pada sebuah *bandwith* yang sangat sempit, tiap subkanal hanya menduduki sebuah bagian kecil dari band frekuensi total.

D. Kapasitas kanal CAP dan DMT

Kapasitas kanal menunjukkan kemampuan dari suatu saluran untuk mengalirkan data dalam satu satuan waktu, bisa dalam bit/detik (bps) atau bit/jam. Apabila besarnya kapasitas kanal saluran lebih besar dari *throughput* maka semua informasi yang ada akan dapat terkirim semua tanpa ada kesalahan. Kapasitas kanal juga dapat dijadikan referensi dari kemampuan atau efektifitas transmisi dari arsitektur *transceiver* yang dibangun. Besarnya kapasitas kanal dipengaruhi oleh tingkat sinyal transmisi, faktor redaman, Kapasitas

kanal merupakan fungsi dari karakteristik kanal yang diterima dan daya *noise* (SNR yang diterima).

Untuk kapasitas tiap kanal DMT :

$$C_k = \frac{1}{T} \log_2 \left(1 + \frac{SNR_k}{\epsilon} \right) \quad (2.1)$$

maka, untuk kapasitas kanal total adalah total :

$$C = \sum_{k=K_0}^K C_k \quad (2.2)$$

dengan :

C = kapasitas kanal total DMT

SNR_k = SNR tiap kanal DMT

T = simbol data rate (bit)

r = shannon kapasitas

Untuk kapasitas kanal CAP :

$$C = \log_2 (1 + SNR) \quad (2.3)$$

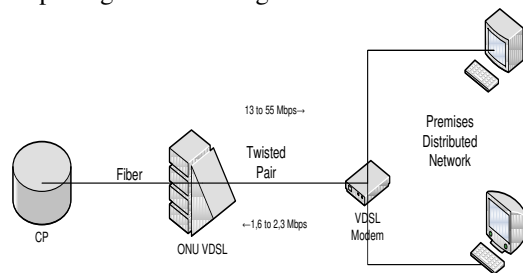
dengan :

SNR = SNR kanal CAP

E. Very High Data Rate Digital Subscriber Line (VDSL)

Very High Data Rate Digital Subscriber Line (VDSL) merupakan teknologi DSL dengan kecepatan tertinggi yaitu mencapai 52 Mbps. VDSL merupakan kelanjutan dari teknologi DSL sebelumnya yang memiliki bandwidth yang lebar dan didukung dengan aplikasi simetris dan tak simetris. Aplikasi ini memungkinkan VDSL digunakan untuk *Full Service Access Network* (FSAN).

VDSL merupakan sasaran dari arsitektur jaringan ATM. Rentang operasinya 1.000 - 4.500 kaki (304 m - 2 Km), dengan kecepatan 13 - 52 Mbps untuk *downstream* dan 1,5 - 2,3 Mbps untuk *upstream*-nya melalui sepasang kawat tembaga.



Gambar 4. Model referensi umum VDSL

(Sumber : CISCO Systems, 2006)

Model referensi umum dari VDSL ditunjukkan pada Gambar 4. Pada dasarnya, VDSL digunakan pada arsitektur *Fibre to The Node* (FTTN) dengan *Optical Network Unit* (ONU) yang di tempatkan pada jaringan akses telah ada dan letaknya pada *Central Office*. Saluran *twisted pair* mengirimkan sinyal *narrowband* antara ONU dengan *Premises Distributed Network* (PDN) atau *Costumer Premises* (CP). Modem VDSL teletak pada PDN atau CP disisi pelanggan.

F. Karakteristik Saluran Transmisi dan Fungsi Transfer Saluran

Faktor penting yang perlu dipertimbangkan dalam jaringan VDSL adalah karakteristik saluran transmisi, meliputi tipe dan kualitas kabel, jarak distribusi kabel, topologi jaringan dan pelemahan sinyal (Sjoberg, 2000:9).

Jarak sentral ke pelanggan penting karena terkait langsung dengan panjang saluran transmisi. Semakin panjang saluran maka redaman semakin besar, akibatnya kapasitas *bit-rate* menjadi berkurang. Untuk saluran yang dipakai pada VDSL yang menggunakan frekuensi tinggi (lebih dari 1 MHz), redaman dirumuskan sebagai berikut (Sjoberg, 2000:12) :

$$L_{dB} = 8,686 \cdot d \cdot \alpha(f) \quad (3.3)$$

dengan :

d = panjang saluran (km)

$\alpha(f)$ = konstanta redaman (Np/km)

G. Delay

Definisi umum *delay* adalah waktu tunda yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari sumber sampai ke tujuan. Dalam jaringan berbasis *packet switching*, *delay* yang terjadi adalah jumlah keseluruhan *delay* pada setiap hip yang ada dalam perjalanan paket dari sumber ke tujuan. *Delay* total adalah hasil jumlah dari *delay* paketisasi, *delay* transmisi, *delay* switching dan *delay* depaketisasi, dijelaskan sebagai berikut :

$$Delay\ Total = PD + TD + SD + DD$$

PD = *Pakectization Delay* (detik)

TD = *Transmission Delay* (detik)

SD = *Switching Delay* (detik)

DD = *Depacketization Delay* (detik)

H. Throughput

Throughput adalah kecepatan maksimum jaringan saat tidak ada data yang hilang pada proses pentransmisian. Pengiriman data antara pengguna dan penyedia layanan diupayakan untuk dapat mengirimkan data dengan cara memeriksa kesalahan, mengirimkan data ulang (*retransmission*) dan mengirimkan pesan jika terdapat kesalahan. Persamaan maksimum *throughput* yang dipengaruhi oleh probabilitas kesalahan data yang diterima adalah : (Schwartz, 1987)

$$\lambda = \frac{1}{t_v} = \frac{(1-\rho)}{t_l[1+(\alpha-1)\rho]} \quad (3.16)$$

dengan :

λ = *throughput* (paket/detik)

t_v = waktu rata rata transmisi untuk mengirimkan paket tanpa kesalahan (detik)

t_1 = waktu transmisi sebuah paket data (detik)
 α = konstanta
 ρ = probabilitas kesalahan data yang diterima

III. METODE PENELITIAN

Tahapan dalam penelitian ini meliputi pengambilan data, pengkajian data, dan pengolahan data.

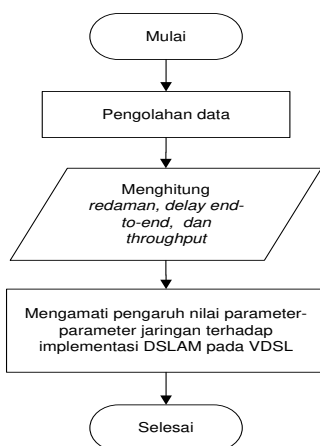
Data-data yang diperlukan dalam menyelesaikan penelitian ini, yaitu data sekunder dari PT TELKOM DIVISI MULTIMEDIA-Malang berupa data pelanggan, kecepatan VDSL, SNR (*Signal to Noise Ratio*), dan jarak. Selain itu juga didapatkan melalui studi literatur dari berbagai buku referensi, jurnal, *web browsing*, dan forum-forum resmi yang membahas implementasi DSLAM pada VDSL.

Metode perhitungan dan analisis data yang digunakan dalam pembahasan penelitian ini adalah mengumpulkan beberapa nilai parameter dari data sekunder melalui studi literatur. Pendekatan matematis dengan analisis persamaan matematis dilakukan secara *analytical analysis*. Perhitungan dan analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi:

1. Nilai redaman
2. Nilai *delay end-to-end*
3. Variasi nilai *throughput*

Setelah data hasil perhitungan didapatkan, maka kemudian dapat diketahui bagaimana kualitas jaringan.

Berikut langkah-langkah penelitian, sehingga didapatkan nilai performansi :



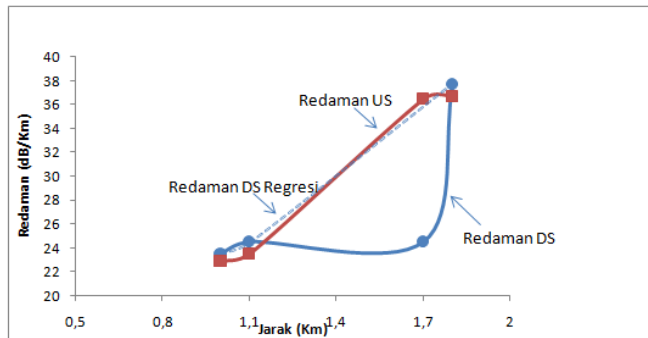
Gambar 5. Diagram alir analisis kualitas jaringan internet pada implementasi DSLAM pada teknologi VDSL

(sumber : perancangan)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Redaman

Variasi nilai redaman terhadap jarak atau panjang saluran *client*-DSLAM ditunjukkan pada Gambar 6 berikut.



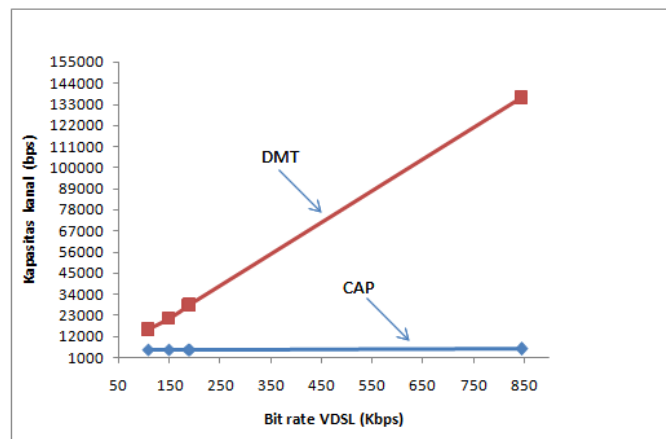
Gambar 6. Hubungan redaman dengan jarak untuk pelanggan VDSL

(sumber : hasil perhitungan)

Gambar 6 menunjukkan bahwa semakin besar nilai jarak antara *client* dengan DSLAM maka nilai redaman semakin besar. Hal tersebut dapat ditunjukkan pada jarak 1,7 Km nilai laju bit VDSL 768 Kbps nilai redaman 37,7 dB/Km dengan jarak 1,8 Km untuk nilai laju bit VDSL 764 Kbps nilai redaman 38,7dB/Km. Dikarenakan, nilai redaman berbanding lurus dengan jarak atau panjang saluran yang sesuai dengan persamaan (3.3).

B. Kapasitas kanal CAP dan DMT

Variasi nilai kapasitas kanal CAP dan DMT terhadap nilai SNR dan redaman ditunjukkan pada Gambar 7 berikut.



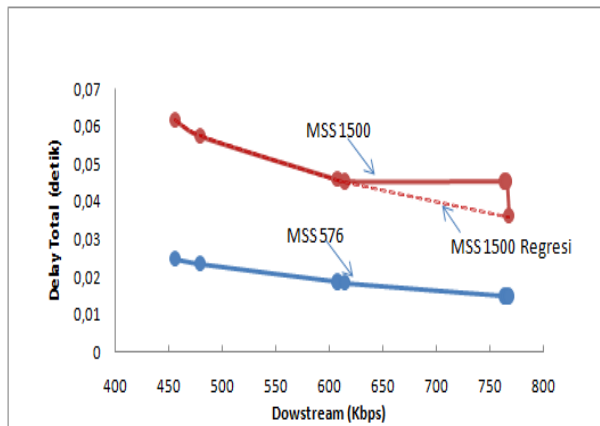
Gambar 7. Perbandingan nilai kapasitas kanal CAP dan DMT pada kecepatan VDSL

(sumber : hasil perhitungan)

Gambar 7. menunjukkan bahwa untuk nilai kapasitas kanal DMT lebih besar dari nilai kapasitas kanal CAP untuk semua nilai bit rate VDSL, ditunjukkan pada nilai laju bit VDSL 189 Kbps jarak 1,1 Km nilai kapasitas kanal DMT sebesar 25773,5 bps sedangkan nilai kapasitas kanal CAP sebesar 4977 bps. Hal ini dikarenakan faktor utilisasi *bandwidth* yang lebih unggul pada DMT dibandingkan CAP.(PT TELKOM INDONESIA, 2004)

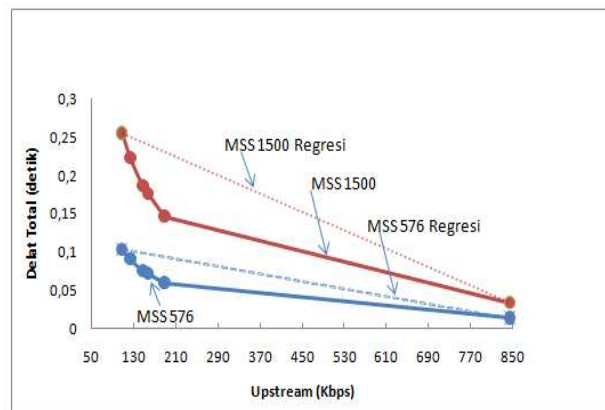
C. Delay end to end jaringan

Variasi nilai *delay end to end* terhadap kecepatan transmisi VDSL pada *client* ditunjukkan pada Gambar 8 dan Gambar 9 berikut.



Gambar 8. Hubungan *delay end to end* dengan *downstream* VDSL
(sumber : hasil perhitungan)

Gambar 8 menunjukkan, semakin besar kecepatan transmisi VDSL maka semakin besar *delay* totalnya. Hal tersebut ditunjukkan pada nilai laju bit VDSL 1126 Kbps jarak 1,8 Km MSS 576 byte nilai *delay* total 0,010070939 detik dengan nilai laju bit VDSL 608 Kbps jarak 1,8 Km MSS 576 byte nilai *delay* total 0,018515819 detik. Hal tersebut dikarenakan nilai *delay* berbanding terbalik dengan laju bit VDSL dengan asumsi nilai MSS sebagai nilai konstanta.

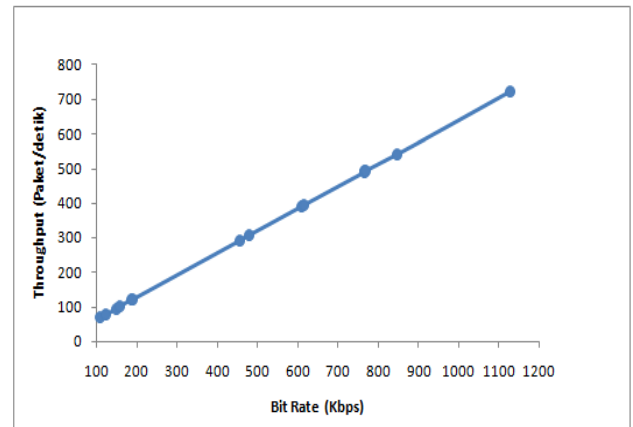


Gambar 9. Hubungan *delay end to end* dengan *upstream* VDSL
(sumber : hasil perhitungan)

Gambar 9. menunjukkan semakin besar kecepatan transmisi VDSL maka semakin besar *delay* totalnya. Hal tersebut ditunjukkan pada nilai laju bit VDSL 845 Kbps jarak 1,8 Km MSS 576 byte nilai *delay* total 0,013401874 detik dengan nilai laju bit VDSL 148 Kbps jarak 1,8 Km MSS 576 byte nilai *delay* total 0,075190712 detik. Hal tersebut dikarenakan nilai *delay* berbanding terbalik dengan laju bit VDSL dengan asumsi nilai MSS sebagai nilai konstanta.

D. Throughput

Variasi nilai *throughput* terhadap kecepatan transmisi VDSL pada *client* ditunjukkan pada Gambar 10 berikut.



Gambar 10. Hubungan *bit rate* VDSL dengan nilai *throughput*
(sumber : hasil perhitungan)

Gambar 10 menunjukkan, semakin besar kecepatan transmisi VDSL maka nilai *throughput* semakin besar untuk jaringan DSLAM pada VDSL, hal tersebut ditunjukkan pada nilai laju bit VDSL 768 Kbps MSS 1500 byte nilai *throughput* 491,99 paket/sel dengan nilai laju bit VDSL 615 Kbps MSS 1500 byte nilai *throughput* 393,97 paket/sel. Hal tersebut dikarenakan nilai *throughput* berbanding lurus dengan laju bit VDSL dengan asumsi nilai MSS sebagai nilai konstanta.

V. PENUTUP

Berdasarkan analisis implementasi *Digital Subscriber Line Access Multiplexer* (DSLAM) pada teknologi *Very High Data Rate Digital Subscriber Line* (VDSL) didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

A. Kesimpulan

1. Semakin jauh jarak *client* terhadap sentral atau DSLAM maka nilai SNR (*Signal to Noise Ratio*) yang dihasilkan semakin kecil. Hal tersebut dapat dilihat pada data referensi pelanggan antara pelanggan di daerah Jln.Sumpil 332 C yang berjarak 1 Km nilai SNR 26,5 dB dengan pelanggan di daerah Cakalang 122 yang berjarak 1,7 Km nilai SNR 26,1 dB.
2. Semakin besar nilai jarak antara *Client* dengan DSLAM maka nilai redaman semakin besar. Hal tersebut ditunjukkan pada jarak 1,7 Km nilai laju bit VDSL 768 Kbps nilai redaman 37,7 dB/Km dengan jarak 1,8 Km untuk nilai laju bit VDSL 764 Kbps nilai redaman 38,7dB/Km.
3. Nilai kapasitas kanal DMT lebih besar dari nilai kapasitas kanal CAP untuk semua nilai *bit rate* VDSL dikarenakan faktor utilisasi *bandwidth* yang lebih unggul. Hal tersebut ditunjukkan pada nilai laju bit VDSL 189 Kbps jarak 1,1 Km nilai kapasitas kanal DMT sebesar 25773,5 bps sedangkan nilai kapasitas kanal CAP sebesar 4977 bps.

4. Semakin besar ukuran segmen TCP maka *delay* total semakin besar. Hal tersebut ditunjukkan pada nilai laju bit VDSL 768 Kbps jarak 1 Km nilai *delay* total MSS 1500 byte sebesar 0,03592994 detik sedangkan nilai *delay* total MSS 576 byte sebesar 0,014708856 detik.
5. Semakin besar kecepatan transmisi maka *delay* total semakin kecil. Hal tersebut ditunjukkan pada nilai laju bit VDSL 1126 Kbps jarak 1,8 Km MSS 576 byte nilai *delay* total 0,010070939 detik dengan nilai laju bit VDSL 608 Kbps jarak 1,8 Km MSS 576 byte nilai *delay* total 0,018515819 detik.
6. Semakin besar kecepatan transmisi VDSL maka nilai *throughput* dan kecepatan rata-rata *throughput* semakin besar untuk jaringan DSLAM pada VDSL. Hal tersebut ditunjukkan pada nilai laju bit VDSL 768 Kbps MSS 1500 byte nilai *throughput* 491,99 paket/sel kecepatan rata-rata *throughput* 590380 bps dengan nilai laju bit VDSL 615 Kbps MSS 1500 byte nilai *throughput* 393,97 paket/sel kecepatan rata-rata *throughput* 472764 bps.

B. Saran

1. Perencanaan *Digital Subscriber Line Access Multiplekser (DSLAM)* pada teknologi *Very High Data Rate Digital Subscriber Line (VDSL)* dapat diterapkan dengan pengoptimalkan jaringan teknologi serat optik.
2. Analisis implementasi *Digital Subscriber Line Access Multiplekser (DSLAM)* pada teknologi *Very High Data Rate Digital Subscriber Line (VDSL)* dapat dilanjutkan dengan parameter yang lebih spesifik seperti pengoptimalan kapasitas kanal CAP (*Carrierless Amplitude/Phase Modulation*).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Golden, Philip, Herve Dedieu, Krista S Jacobsen. 2006. *Fundamentals of DSL technology*. New York : Auerbach Publications.
- [2] Polgar, Zsolt. 2011. *DSL (Digital Subscriber Line) Access Techniques*. Communications Department Faculty of Electronics and Telecommunications, Technical University of Cluj-Napoca.
- [3] Ernelli, Mattias. 2008. *Loop Qualification for VDSL*. Sweden : KTH Electrical Engineering.
- [4] Sjoberg, Frank. 2000. *A VDSL Tutorial*. Lulea Tekniska Universitet.
- [5] Allied Telesis. *DSL White Paper*.
- [6] Golden, Philip, Herve Dedieu, Krista S Jacobsen. 2006. *Implementation and Application of DSL Technology*. New York : Auerbach Publications.
- [7] Bourne, Jennie. Dave Burstein. 2002. *DSL A Wiley Tech Brief*. Canada : John Wiley & Sons, Inc.
- [8] Green, James Harry. 2002. *Access Technologies : DSL and Cables*. United States : McGraw-Hill.

Aditya Angga Kusuma, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Desember 2013, Implementasi *Digital Subscriber Line Access Multiplekser (DSLAM)* pada teknologi *Very High Data Rate Digital Subscriber Line (VDSL)* , Dosen Pembimbing: Sholeh Hadi Pramono, Dr., Ir., MS. dan Ali Mustofa, ST., MT.
